



УДК 620.92

ВЛИЯНИЕ ДИВЕРСИФИКАЦИИ В МИКРОГЕНЕРАЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВИЭ НА СНИЖЕНИЕ РИСКОВ ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЯ

THE IMPACT OF DIVERSIFICATION IN MICROGENERATION USING RENEWABLE ENERGY TO REDUCE RISKS OF POWER SUPPLY

Любомудров Борис Эдуардович, студент кафедры «Атомные станции и возобновляемые источники энергии», Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н.Ельцина, Россия, 620002, Екатеринбург, ул. Мира, 19

Велькин Владимир Иванович, к.т.н., доцент каф. «Атомные станции и возобновляемые источники энергии», Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н.Ельцина, Россия, 620002, Екатеринбург, ул. Мира, 19, E-mail: v.i.velkin@urfu.ru, Tel: 9221046248

Boris E. Lyubomudrov, student, KAF. "Nuclear power plants and renewable energy sources", Ural Federal University named after the first President of Russia B. N. Yeltsin, Russia, 620002, Ekaterinburg, Mira str., 19

Vladimir I. Velkin, candidate of technical Sciences, associate Professor KAF. "Nuclear power plants and renewable energy sources", Ural Federal University named after the first President of Russia B. N. Yeltsin, Russia, 620002, Ekaterinburg, Mira str., 19, E-mail: v.i.velkin@urfu.ru, Tel: 9221046248

Аннотация: Дано описание микрогенерирующих систем на основе ВИЭ, состоящих из оборудования разных видов возобновляемых источников энергии. Показано, что стохастичность возобновляемых источников энергии влияет на надежность энергообеспечения и создает различные риски. Рассматривается влияние диверсификации различных источников ВИЭ на повышение надежности и снижение риска потери энергообеспечения. Предложено решение по отысканию наиболее эффективного состава оборудования комплексной энергосистемы – микрогенерирующей системы ВИЭ на основе математического моделирования с применением метода выпуклой оптимизации.

Abstract: The description of microgeneration systems based on renewable energy sources, consisting of equipment of different types of renewable energy sources, is given. It is shown that the stochasticity of renewable energy sources affects the reliability of energy supply and creates various risks. The influence of diversification of different sources of renewable energy to improve reliability and reduce the risk of loss of energy. The solution for finding the most effective composition of the complex power system equipment – RES microgeneration system on the basis of mathematical modeling with the use of convex optimization method is proposed.

Ключевые слова: Возобновляемая энергетика, микрогенерирующие системы на базе ВИЭ, риск, стохастичность возобновляемой энергии

Key words: renewable energy, microgeneration systems based on renewable energy sources, risk, stochasticity of renewable energy

ВВЕДЕНИЕ

Большие пространства РФ, наличие удаленных поселений и автономных объектов требуют надежных независимых энергоисточников, и сейчас эта задача решается, в основном, за счет дизельгенераторов, работающих на органическом топливе. Особенности географического положения страны (средние и высокие широты, резко континентальный климат, удаленность большей части заселённых территорий от морей), обуславливают на значительной части

территории РФ низкоэнергетический ветер (3–5 м/с), относительно невысокую среднегодовую инсоляцию (120–200 Вт/м²), что определяет недостаточную надежность и низкую конкурентоспособность ВИЭ.

Одним из решений задачи повышения надежности и конкурентоспособности ВИЭ для удаленных объектов может стать использование микрогенерирующих энергокомплексов с расширенным рядом ВИЭ, использующих большую часть имеющегося на данной территории энергетического потенциала.

Основным признаком таких энергокомплексов является применение возобновляемых источников энергии в составе возможно большего обоснованного спектра различных видов оборудования: ВЭУ (ветроэлектрические установки), ФЭП (фотоэлектрические преобразователи), СК (солнечные коллекторы), мГЭС (малые гидроэлектростанции), БГУ (биогазовые установки), ТН (тепловые насосы). Негативная сторона использования ВИЭ – стохастичность климатических характеристик, обуславливающая риск остаться без энергоснабжения или существенно снижающая надежность последнего.

В связи с этим возникает проблема измерения риска и его влияния на выработку энергии.

РИСК ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

В возобновляемой энергетике под риском понимают возможную потерю энергообеспечения, вызванную наступлением случайных неблагоприятных событий (отсутствие ветра, солнца, маловодность). В других направлениях деятельности под риском также понимается некоторый ущерб [1]. Последний может быть объективным, т. е. определяться внешними воздействиями. В некоторых областях деятельности риск понимается как вероятность наступления некоторого неблагоприятного события. Чем выше эта вероятность, тем больше риск.

Естественной реакцией на наличие риска в области возобновляемой энергетики является стремление использовать одновременно различные виды энергии – диверсифицировать оборудование ВИЭ, т.е. распределить общую задачу выработки энергии между различными типами установок ВИЭ. С увеличением числа элементов набора (оборудования ВИЭ) уменьшается общий размер риска.

Второй путь ослабления влияния риска заключается в управлении риском. Последнее осуществляется на основе различных приемов, например, с помощью точного расчета сочетания установленных мощностей каждого из видов оборудования ВИЭ.

Однако только в случае, когда риск может быть измерен и представлен в виде статистического показателя, управление риском получает надежное обоснование, а последствия диверсификации поддаются анализу с привлечением методов математической статистики [2].

В математическом анализе риск часто измеряется с помощью таких стандартных статистических характеристик, как дисперсия и среднее квадратичное (стандартное) отклонение. Обе характеристики измеряют колебания от средних значений. Чем они больше, тем выше

рассеяние показателей вокруг среднего и, следовательно, значительнее степень риска.

Между дисперсией D и средним квадратичным отклонением существует следующее соотношение:

$$\sigma = \sqrt{D}.$$

В свою очередь, выборочная дисперсия относительно средней находится как

$$D = \sum \frac{(x_i - \bar{x})^2}{n-1},$$

где n — количество наблюдений;

\bar{x} — средняя случайной переменной x .

Как известно, среднее квадратичное отклонение имеет то неоспоримое достоинство, что при близости реального распределения (мы будем вести речь о распределении себестоимости выработки 1 кВт·ч микрогенерирующим комплексом) к нормальному, что, строго говоря, должно быть статистически проверено, этот параметр может быть использован для определения границ, в которых с заданной вероятностью следует ожидать значение случайной переменной. Так, например, с вероятностью 68% можно утверждать, что значение случайной переменной x (в нашем случае себестоимость выработки 1 кВт·ч кластером ВИЭ) находится в границах $\bar{x} \pm \sigma$, а с вероятностью 95% — в пределах $\bar{x} \pm 2\sigma$ и т. д. (рис. 1).

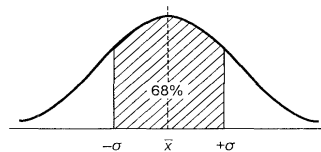


Рис. 1. График нормального распределения значений случайной переменной x
Себестоимость выработки энергии мКС ВИЭ и дисперсия себестоимости выработки 1 кВт·ч.

Определим теперь, что дает диверсификация для уменьшения риска и выявим условия, когда эта цель достигается. В качестве объекта анализа примем некоторый микрогенерирующий комплекс на основе ВИЭ (далее для краткости — мКС ВИЭ). Такой выбор объясняется методологическими преимуществами — в этом случае проще выявить зависимости между основными переменными. Однако многие из полученных результатов без большой натяжки можно распространить и на любые системы ВИЭ.

В качестве измерителя риска в долгосрочном применении ВИЭ может быть применена такая мера, как дисперсия себестоимости выработки 1 кВт·ч. Диверсификация оборудования при правильном ее применении приводит к уменьшению этой дисперсии при всех прочих равных условиях. Диверсификация базируется на простой гипотезе. Если каждая компонента комплекса ВИЭ характеризуется некоторой дисперсией себестоимости выработки 1 кВт·ч, то себестоимости выработки 1 кВт·ч от кластера

ВИЭ имеет дисперсию, определяемую его составом. Таким образом, изменяя состав мКС ВИЭ, можно менять суммарную дисперсию надежности, а в некоторых случаях свести ее к минимуму [3].

Итак, пусть имеется мКС ВИЭ из n видов источников энергии. Себестоимости выработки 1 кВт·ч от одного вида i составляет величину d_i . Суммарная себестоимость выработки 1 кВт·ч A равна:

$$A = \sum a_i d_i \quad (1)$$

где a_i — количество видов оборудования ВИЭ i . Если d_i представляет собой среднюю себестоимость выработки 1 кВт·ч оборудования, то величина A характеризует среднюю себестоимости выработки 1 кВт·ч мКС ВИЭ в целом.

Положим, что показатели себестоимости выработки 1 кВт·ч различных источников энергии являются статистически независимыми величинами (иначе говоря, не коррелируют между собой). Дисперсия себестоимости выработки 1 кВт·ч мКС (обозначим ее D) в этом случае находится как

$$D = \sum a_i^2 D_i \quad (2)$$

где D_i — дисперсия себестоимости выработки 1 кВт·ч i -м оборудованием мКС ВИЭ.

Для упрощения, которое несколько не повлияет на результаты дальнейших рассуждений, перейдем от абсолютного измерения количества оборудования ВИЭ к относительному. Пусть теперь a_i характеризует долю в мКС ВИЭ i . Соответственно $0 < a_i < 1$; $\sum a_i = 1$.

Для зависимых в статистическом смысле показателей себестоимости выработки 1 кВт·ч мКС ВИЭ дисперсию суммарной надежности находим следующим образом:

$$D = \sum a_i^2 D_i + 2 \sum a_i a_j r_{ij} \sigma_i \sigma_j \quad (3)$$

где D_i — дисперсия себестоимости выработки 1 кВт·ч мКС ВИЭ вида i ;

r_{ij} — коэффициент корреляции себестоимости выработки 1 кВт·ч мКС ВИЭ вида i и j ;

σ_i и σ_j — среднее квадратичное отклонение себестоимости выработки 1 кВт·ч у оборудования ВИЭ вида i и j . Доказательства справедливости формул (2) и (3) можно найти в пособиях по математической статистике.

Коэффициент корреляции двух случайных переменных x и y , как известно, определяется по формуле (4):

$$r_{xy} = \frac{\sum (x - \bar{x})(y - \bar{y})}{n \cdot \sigma_x \sigma_y} \quad (4)$$

где \bar{x} , \bar{y} — средние (в нашем случае средние себестоимости выработки 1 кВт·ч) двух видов ВИЭ.

Для расчетов часто применяется следующая рабочая формула:

$$r_{xy} = \frac{n \sum xy - \sum x \sum y}{\sqrt{[\sum x^2 - (\sum x)^2][\sum y^2 - (\sum y)^2]}}$$

Поскольку коэффициент корреляции может быть как положительной, так и отрицательной величиной, то при положительной корреляции дисперсия себестоимости 1 кВт·ч энергии увеличивается, при отрицательной — сокращается. В самом деле, при заметной отрицательной корреляции положительные отклонения от среднего значения себестоимости 1 кВт·ч, выработанного мКС ВИЭ, погашаются отрицательными отклонениями у других. И наоборот, при положительной корреляции отклонения суммируются, что увеличивает общую дисперсию и риск.

Напомним следующие свойства коэффициента корреляции:

- коэффициент не имеет размерности, следовательно, он сопоставим для разных рядов данных;
- величина r_{xy} лежит в пределах от -1 до $+1$. Значение $r = +1$ говорит о том, что между переменными существует полная положительная корреляция, т. е. наблюдается функциональная линейная зависимость — с увеличением x линейно растет y . При $r = -1$ наблюдается отрицательная линейная зависимость.

Каково же влияние масштаба диверсификации (использование разных видов ВИЭ) оборудования ВИЭ на размер риска? Обратимся к условному примеру, который позволяет наиболее отчетливо выделить влияние указанного фактора. Итак, пусть мКС ВИЭ состоит из оборудования различного вида, но имеющего одинаковую дисперсию себестоимости 1 кВт·ч σ_0^2 . Удельные веса в мКС ВИЭ каждого вида оборудования (ФЭП, ВЭУ, пр.) также одинаковы, а общая сумма долей оборудования (по установленной мощности) равна 1. Положим, что показатели себестоимости выработки 1 кВт·ч у отдельных видов оборудования ВИЭ независимы, т. е. применима формула (2). В этих условиях для оценки величины среднего квадратичного отклонения себестоимости выработки 1 кВт·ч энергии получим:

$$D = \frac{1}{n} \sigma_0^2,$$

где n — количество видов оборудования ВИЭ.

Воспользуемся приведенной формулой и определим дисперсию для себестоимости выработки 1 кВт·ч энергии мКС ВИЭ, состоящей из двух и трех видов ВИЭ. Так, для двух различных ВИЭ имеем:

$$D = \frac{1}{2} \sigma_0^2 \text{ и } \sigma = \sqrt{\frac{1}{2}} \times \sigma_0 = 0,71 \sigma_0.$$

Для трех видов оборудования ВИЭ квадратичное отклонение себестоимости выработки 1 кВт·ч энергии составит $0,58 \sigma_0$.

Таким образом, с увеличением числа оборудования в мКС ВИЭ риск уменьшается даже при одинаковой дисперсии составляющих элементов, однако действенность диверсификации снижается, т.е. растет стоимость установленного оборудования. Соответствующая зависимость изображена на рис.2.

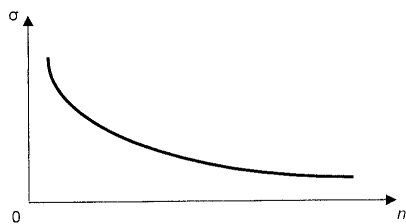


Рис. 2. График влияния диверсификации (роста оборудования различных видов ВИЭ) на риск

Увеличение масштабов диверсификации оказывает наибольшее влияние на начальных стадиях — при малых значениях n . Например, в рамках рассмотренного примера переход от одного вида ВИЭ к четырем сокращает квадратичное отклонение на 50%, а от одного к восьми — на 65%.

Полученные выше выводы в отношении тенденции изменения среднего квадратичного отклонения в зависимости от числа составляющих при условии, когда дисперсии составляющих одинаковы, справедливы и для более общих случаев. Однако зависимость этого параметра от степени диверсификации проявляется здесь не столь четко.

Для независимых ВИЭ получим:

$$D = a_x^2 D_x + a_y^2 D_y \quad (5)$$

и для зависимых элементов оборудования в составе мКС ВИЭ:

$$D = a_x^2 \sigma_x^2 + a_y^2 \sigma_y^2 + 2a_x a_y r_{xy} \sigma_x \sigma_y \quad (6)$$

Причем $a_y = 1 - a_x$.

В этом случае среднее значение стоимости выработки 1 кВт·ч определяется как:

$$A = a_x d_x + (1 - a_x) d_y \quad (7)$$

Положим, что $d_y > d_x$ и $\sigma_y > \sigma_x$. Тогда увеличение доли более эффективного вида ВИЭ снижает себестоимость выработки 1 кВт·ч энергии. Так, на основе (7) получим:

$$A = d_x + (d_y - d_x) a_x \quad (8)$$

Что касается дисперсии, то, как следует из (6), положение не столь однозначно и зависит от знака и степени корреляции. В связи с этим подробно рассмотрим три ситуации:

- полная положительная корреляция себестоимости выработки 1 кВт·ч между видами оборудования ВИЭ ($r_{xy} = +1$);
- полная отрицательная корреляция ($r_{xy} = -1$), независимость себестоимости выработки 1 кВт·ч между видами оборудования ВИЭ;
- нулевая корреляция ($r_{xy} = 0$).

В первом случае увеличение себестоимости выработки 1 кВт·ч между видами оборудования ВИЭ за счет включения в состав мКС ВИЭ оборудования Y помимо X сопровождается повышением как себестоимости выработки 1 кВт·ч, так и дисперсии. Для мКС ВИЭ, содержащей оба вида оборудования, квадратичное отклонение находится в пределах $\sigma_x < \sigma < \sigma_y$ (рис.3).

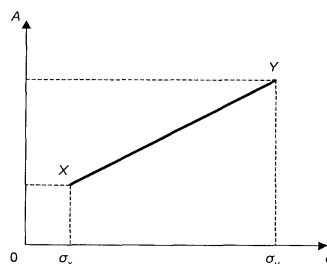


Рис. 3. График значений квадратичного отклонения для мКС ВИЭ, содержащей оборудование X и Y

Для частного случая, когда $\sigma_x = \sigma = \sigma_y$, получим по формуле (6) $D = \sigma^2$. Иначе говоря, "смешение" видов оборудования в составе мКС ВИЭ здесь не окажет никакого влияния на величину дисперсии.

В общем случае для математического анализа мКС ВИЭ можно представить в виде структурной схемы, базирующейся на принципе «черного ящика», как основе при решении задач оптимизации [4].

Справедливо предполагается, что возмущающие воздействия не поддаются контролю и либо являются случайными, либо меняются во времени (скорость ветра, инсоляция, температура), определяя стохастичность математической модели.

Поиск решений для подобного типа задач с использованием «черного ящика» и осуществляется через математическое моделирование с использованием метода выпуклой оптимизации [4].

Визуализация алгоритма поиска оптимального мКС ВИЭ рассматривается в [5].

ВЫВОДЫ

1. Применение систем энергоснабжения на принципах диверсификации (разнообразия источников) мКС ВИЭ, - повышает надежность энергоснабжения автономных объектов.
2. Управление риском (снижение вероятности обесточивания объекта) может регулироваться посредством выбора оптимального состава оборудования ВИЭ на различных принципах возобновляемой энергетики.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Knight F. Risk, Uncertainty and Profits. L., 1921, 118 p.
2. Бендат Дж., Пирсол А. Измерение и анализ случайных процессов, Изд. «Мир», 1974, 464 с.
3. Markowitz, H.M., 1952. Portfolio selection. Journal of Finance, 7(1): 77-91.
4. Sharpe, W.F., 1963. A Simplified Model for Portfolio Analysis. Management Science.
5. Velkin V. The use of the graphical model for the RES cluster for determining the optimal composition of the equipment of renewable energy sources// World Applied Sciences Journal, 29 (9); 2013, p.1343-1348.